

【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の光学素子間に配置され、印加された電圧に基づき変位して前記光学素子間の距離を増減する圧電素子と、

該圧電素子に正電圧および負電圧を印加する電圧印加装置と、

前記圧電素子の変位に対するヒステリシス特性に基づいて前記電圧印加装置による印加電圧を制御する制御装置とを備えることを特徴とする投影光学系。

【請求項2】 請求項1記載の投影光学系において、前記圧電素子には、ピエゾ素子が用いられることを特徴とする投影光学系。

【請求項3】 請求項1または2記載の投影光学系において、

前記制御装置は、前記圧電素子の変位量に関する情報を検出する検出部を備え、該検出部からの検出信号に応じて前記ヒステリシス特性に基づく前記印加電圧の制御を行うことを特徴とする投影光学系。

【請求項4】 請求項3記載の投影光学系において、前記制御装置は、前記検出部からの検出信号に対して閾値を設定する設定部を備え、前記検出信号が前記閾値を越えたときに前記ヒステリシス特性に基づく前記印加電圧の制御を行うことを特徴とする投影光学系。

【請求項5】 請求項1から4のいずれかに記載の投影光学系において、

前記制御装置は、前記ヒステリシス特性に基づいて前記圧電素子に印加されていた電圧と逆極の電圧を印加することにより、前記圧電素子を初期状態にすることを特徴とする投影光学系。

【請求項6】 複数の光学素子間に、印加された電圧に基づき変位して前記光学素子間の距離を増減する圧電素子を配置した投影光学系を対象として、前記電圧を操作することで前記光学素子の結像特性を調整する投影光学系の結像特性調整方法において、前記圧電素子の変位に対するヒステリシス特性に基づいて前記圧電素子に印加されていた電圧と逆極の電圧を印加して、前記圧電素子を初期状態に変位させる初期化工程を有することを特徴とする投影光学系の結像特性調整方法。

【請求項7】 請求項6記載の投影光学系の結像特性調整方法において、

前記圧電素子の変位量に関する情報に基づいて、前記初期化工程に移行することを特徴とする投影光学系の結像特性調整方法。

【請求項8】 請求項7記載の投影光学系の結像特性調整方法において、

前記圧電素子の変位量に関する情報が所定の閾値を越えたとき、前記初期化工程に移行することを特徴とする投影光学系の結像特性調整方法。

【請求項9】 請求項6から8のいずれかに記載の投影

光学系の結像特性調整方法において、

前記初期化工程で前記圧電素子に分極反転が発生する際に、該圧電素子に対する印加速度を低減させることを特徴とする投影光学系の結像特性調整方法。

【請求項10】 マスクのパターン像を投影光学系を介して基板に投影する投影露光装置において、

前記投影光学系として請求項1から5のいずれかに記載された投影光学系が設置されることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マスクのパターン像を基板に投影する際に用いられる投影光学系およびその結像特性調整方法並びに投影露光装置に関し、特に、基板上に転写するパターン像の特性を補正する投影光学系およびその結像特性調整方法並びに投影露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（CCD等）、薄膜磁気ヘッドなどのマイクロデバイスを製造するためのフォトリソグラフィ工程では、例えばステップ・アンド・リピート方式の縮小投影型露光装置（ステッパ）、またはステップ・アンド・スキャン方式の縮小投影型走査露光装置（スキャニング・ステッパ）などを用いて、基板（半導体ウエハ、ガラスプレート、セラミックウエハ）上に投影光学系を介してマスクのパターンを転写している。

【0003】このとき、投影光学系は、設置空間の圧力変化や露光光の照射熱などにより結像特性が変化し、基板上に転写されるパターン像の特性を変化させる。したがって、従来では、投影光学系に含まれる一部のレンズ群（光学素子）を駆動する機構や、一部のレンズ間を密封して内部圧力を変更する機構等の補正手段を用いて結像特性の変化を調整する種々の方法が提案されている。

【0004】この種の調整手段として、例えば、特開平4-192317号が提供されている。この技術は、群構成とされたレンズエレメントを支持部材に固定するとともに、周方向に複数配置された伸縮可能な駆動素子によって支持部材を投影光学系の鏡筒部に連結するものである。そして、これらの駆動素子を個々に伸縮させることにより、投影光学系の種々の結像特性調整している。例えば、レンズエレメントを光軸方向に移動させた場合には、光軸を中心として倍率を変化させることができる。また、光軸に垂直に交わる軸を中心にレンズエレメントを傾斜させた場合には、ディストーションを変化させることができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述したような従来の投影光学系およびその結像特性調整方法並びに投影露光装置には、以下のような問題が存在す

る。上記駆動素子として、印加された電圧に基づいて変位する圧電素子を用いた場合、露光処理中この圧電素子には連続して所定電圧が印加されることになる。特に近年、上記基板の大型化が進行しており、これに伴って露光時間も長くなり、ときには数日間に亘って露光処理が継続されることもある。

【0006】この場合、圧電素子の伸縮特性が変化して、一定の電圧を印加しても所定の伸縮長、すなわちストロークが得られないという事態が起こりうる。具体的には、伸長した圧電素子に零電圧を印加しても所定位置まで縮まず、結果として、所定のストロークで駆動しないことになる。特に、圧電素子のヒステリシス特性が正電圧および負電圧に跨って閉曲線、すなわちヒステリシスループを描く場合、圧電素子に正電圧のみを印加しても、圧電素子は電圧零のときに所定位置まで縮まない。そのため、露光処理中にレンズエレメントの位置を検知する検知部からエラーが発せられ、露光処理を中断せざるを得ないという問題があり、生産効率の低下の一因になっていた。

【0007】また、露光装置の故障時やメンテナンス時には、リセット動作を実施するが、このとき、圧電素子のストロークを検出している。ここで、上記のように圧電素子が所定のストロークを出力できない場合にはエラーが発せられ、再度調整を実行しなければならず、調整時間が長くなり生産効率が低下するという問題があった。

【0008】本発明は、以上のような点を考慮してなされたもので、圧電素子のストローク低下を防止することで、生産効率の低下防止に寄与する投影光学系およびその結像特性調整方法並びに投影露光装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明は、実施の形態を示す図1ないし図5に対応付けした以下の構成を採用している。本発明の投影光学系は、複数の光学素子(26～29)間に配置され、印加された電圧に基づき変位して光学素子(26～29)間の距離を増減する圧電素子(33a～33c、34a～34c)と、圧電素子(33a～33c、34a～34c)に正電圧および負電圧を印加する電圧印加装置(35)と、圧電素子(33a～33c、34a～34c)の変位に対するヒステリシス特性(図3)に基づいて電圧印加装置(35)による印加電圧を制御する制御装置(36)とを備えることを特徴とするものである。

【0010】従って、本発明の投影光学系では、制御装置(36)が電圧印加装置(35)による印加電圧を制御して、圧電素子(33a～33c、34a～34c)に正電圧および負電圧を印加することで圧電素子(33a～33c、34a～34c)をヒステリシス特性に基づいて変位させることができる。ここで、圧電素子(3

3a～33c、34a～34c)は、正電圧(または負電圧)が増加するように印加されたときと正電圧(または負電圧)が減少するように印加されたときとで変位量の経路が異なるヒステリシス特性を有している。そして、このヒステリシス特性が正電圧および負電圧に跨ってヒステリシスループを描く場合、始点から一旦逆極の電圧を印加した後に、電圧の極を反転することにより、圧電素子(33a～33c、34a～34c)の変位をヒステリシスループに沿って始点まで戻すことが可能になり、圧電素子(33a～33c、34a～34c)を初期状態にすることができる。

【0011】また、本発明の投影光学系の結像特性調整方法は、複数の光学素子(26～29)間に、印加された電圧に基づき変位して光学素子(26～29)間の距離を増減する圧電素子(33a～33c、34a～34c)を配置した投影光学系(PL)を対象として、電圧を操作することで光学素子(26～29)の結像特性を調整する投影光学系(PL)の結像特性調整方法において、圧電素子(33a～33c、34a～34c)の変位に対するヒステリシス特性(図3)に基づいて圧電素子(33a～33c、34a～34c)に印加されていた電圧と逆極の電圧を印加して、圧電素子(33a～33c、34a～34c)を初期状態に変位させる初期化工程(ステップS1～S12)を有することを特徴とするものである。

【0012】従って、本発明の投影光学系の結像特性調整方法では、初期化工程(ステップS1～S12)において、圧電素子(33a～33c、34a～34c)に逆極の電圧を印加することにより、圧電素子(33a～33c、34a～34c)がヒステリシス特性(図3)に基づいて変位して初期化される。したがって、光学素子(26～29)間の距離を所定量変位させることができる。

【0013】そして、本発明の投影露光装置は、マスク(R)のパターン像を投影光学系(PL)を介して基板(W)に投影する投影露光装置(1)において、投影光学系(PL)として請求項1から5のいずれかに記載された投影光学系(PL)が設置されることを特徴とするものである。

【0014】従って、本発明の投影露光装置では、マスク(R)のパターン像を所定の結像特性をもって基板(W)に投影することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の投影光学系およびその結像特性調整方法並びに投影露光装置の実施の形態を、図1ないし図5を参照して説明する。ここでは、例えば、圧電素子としてピエゾ素子を用いる場合の例を用いて説明する。

【0016】図1は、本発明の投影露光装置1の概略構成図である。この図において、超高圧水銀ランプ、エキ

シマレーザ光源等の露光用の照明光源2は、g線、i線あるいは紫外線パルス光（例えばKrFエキシマレーザ等）のようなレジスト層を感光する波長（露光波長）を発生する。照明光Bは、該照明光Bの光路を閉鎖、開放するシャッター3および大部分（90%以上）の照明光Bを透過させる半透過鏡4を透過した後、オプティカルインテグレータ（フライアイレンズ）等を含む照明光学系5に達する。

【0017】シャッター3は、駆動部6により照明光Bの透過および遮断を制御するように駆動される。また、半透過鏡4で反射された照明光Bの一部は、PINフォトダイオード等の光電検出器7に入射する。光電検出器7は、照明光Bを光電検出して強度値等の光情報PSを主制御系8に出力する。この光情報PSは、主制御系8において投影光学系PLの結像特性の変動量を求めるための基礎データとなっている。

【0018】照明光学系5において光束の一様化、スペックルの低減化等を行われた照明光Bは、ミラー9で反射されてリレーレンズ10、11および可変ブラインド12を通過した後、ミラー13で垂直に下方に反射されてメインコンデンサレンズ14に至り、レチクル（マスク）Rのパターン領域を均一な照度で照明する。可変ブラインド12の面は、レチクルRと共役関係にあるので、駆動モータ15により可変ブラインド12を構成する可動ブレードを開閉させて開口位置、形状を変えることによって、レチクルRの照明視野を任意に選択することができる。

【0019】また、本実施の形態では、照明光Bの照明によりウエハ（基板）Wから発生する反射光が上記ミラー9を通過して光検出器（反射量モニタ）16に入射するように構成されている。反射量モニタ16は、反射光を光電検出して光情報RSを主制御系8に出力し、ここで光情報RSは投影光学系PLの結像特性の変動量を求めるための基礎データとなる。

【0020】レチクルRは、水平面内で二次元移動可能なレチクルステージ17上に載置され、パターン領域の中心点が光軸AXと一致するように位置決めが行われる。レチクルRの初期設定は、レチクル周辺のアライメントマーク（不図示）を光電検出するレチクルアライメント系18からのマーク検出信号に基づいて、レチクルステージ17を微動することにより行われる。レチクルRは、不図示のレチクル交換器により適宜交換されて使用される。特に、多品種少量生産を行う場合、交換は頻繁に行われる。

【0021】レチクルRのパターン領域を透過した照明光Bは、両側テレセントリックな投影光学系PLに入射する。投影光学系PLは、レチクルRの回路パターンの投影像を、表面にレジスト層が形成され、その表面が結像面とほぼ一致するように保持されたウエハWの上の一つのショット領域に重ね合わせて投影（結像）する。こ

のウエハWは、駆動モータ19により光軸AX方向（Z方向）に微動可能なZステージ20上に載置されている。さらに、Zステージ20は、駆動モータ21によりステップ・アンド・リピート方式で二次元移動可能なXYステージ22上に載置されている。XYステージ22は、ウエハW上の一つのショット領域に対するレチクルRの転写露光が終了すると、次のショット位置までステッピングされる。

【0022】XYステージ22の二次元的な位置は、レーザ干渉計23によって、例えば、0.01 μ m程度の分解能で常時検出されている。Zステージ20上には、照射量モニタ（例えば、投影光学系PLのイメージフィールドもしくはレチクルパターンの投影領域とほぼ同じ面積の受光面を備えた光電検出器）24がウエハWの表面位置とほぼ一致するように設けられている。照射量モニタ24が検出した照射量に関する情報LSも主制御系8に出力され、投影光学系PLの結像特性の変動量を求めるための基礎データとなっている。

【0023】また、投影光学系PLの下端近傍には、斜入射方式の面検出系25が設けられている。面検出系25は、ウエハWの光軸方向の位置を検出するものであって、照射光学系25aと受光光学系25bとから構成されている。照射光学系25aは、投影光学系PLの結像面へ向けてピンホールまたはスリットの像を形成するための結像光束もしくは平行光束を、光軸AXに対して斜め方向より供給するものである。

【0024】受光光学系25bは、照射光学系25aが供給した結像光束もしくは平行光束のウエハW表面での反射光束を受光するものである。ここで、面検出系22の構成は、例えば、特公平2-10361号公報に開示されており、ウエハWの表面の結像面に対する上下方向（Z方向）の位置を検出しウエハWと投影光学系PLとの合焦状態を検出する焦点検出系と、ウエハW上の所定領域の結像面に対する傾きを検出する水平位置検出系とを組み合わせたものである。

【0025】一方、本実施の形態の投影光学系PLは、レンズエレメントを移動させることにより、投影倍率、ディストーション等の結像特性を調整する構成になっている。すなわち、投影光学系PLのレチクルRに最も近い第一群のレンズエレメント（光学素子）26、27は、支持部材30により固定されている。また、第二群のレンズエレメント（光学素子）28は、支持部材31により固定されている。そして、レンズエレメント（光学素子）29を含むレンズエレメント28より下部に位置するレンズエレメントは、投影光学系PLの鏡筒部32に固定されている。

【0026】なお、投影光学系PLの光軸AXとは、この鏡筒部32に固定されているレンズエレメント29等の光軸を指すものとする。また、図示したレンズエレメント26等は、少なくとも一つの光学素子（レンズ）か

ら構成されるものを図中一つの光学素子で表している。

【0027】支持部材31は、伸縮可能なピエゾ素子（圧電素子）34a～34cによって投影光学系PLの鏡筒部32と連結されている。また、支持部材30は、ピエゾ素子（圧電素子）33a～33cによって支持部材31に連結されている。これらのレンズエレメント26～28は、投影倍率、ディストーション特性に与える影響が、他のレンズエレメントに比べて大きく制御しやすいものが選択されている。

【0028】ピエゾ素子33a～33c、34a～34cは、印加された電圧に基づいてZ方向に伸縮（変位）することでレンズエレメント26～29間の距離を増減させるものであって、高電圧発生電源（電圧印加装置）35からそれぞれ電圧を印加されるようになっている。図2は、投影光学系PLを上方（レチクルR側）から見た図である。この図に示すように、ピエゾ素子33a～33cは、周方向に120°間隔で配置され、高電圧発生電源35により独立制御可能になっている。ピエゾ素子34a～34cは、周方向に120°間隔で、且つピエゾ素子33a～33cに対して互いに60°ずつずれるように配置されており、ピエゾ素子33a～33cと同様に、高電圧発生電源35により独立制御可能になっている。

【0029】高電圧発生電源35は、上記ピエゾ素子33a～33c、34a～34cに対して正電圧のみを印加する、いわゆるユニポーラ・モードと、正電圧および負電圧を印加する、いわゆるバイポーラ・モードとを切り替え可能になっている。この高電圧発生電源35は、制御装置36によってその駆動を制御される構成になっている。制御装置36は、主制御系8から指定されるレンズエレメント26～28の位置、傾斜に関する情報に基づいて、高電圧発生電源35の駆動を制御するものである。

【0030】一方、支持部材30の上方近傍には、位置センサ（検出部）37が配設されている。位置センサ37は、支持部材30を介してレンズエレメント26～28の位置、すなわちピエゾ素子33a～33c、34a～34cの位置を高精度に検出し、検出結果を制御装置36に出力するものである。そして、制御装置36には、この位置センサ37から出力される検出信号に対して閾値を設定する設定部38が付設されている。また、制御装置36は、位置センサ37と高電圧発生電源35とをソフト的にクローズ・ループを構成することで、高精度な位置サーボが可能になっている。

【0031】上記の構成によって、二群のレンズエレメント（26、27）、28の周辺三点を独立に、投影光学系PLの光軸AX方向に主制御系8から与えられる駆動指令に応じた量だけ移動させることができる。この結果、二群のレンズエレメント（26、27）、28のそれぞれを光軸AXにほぼ沿って平行移動させることがで

きるとともに、光軸AXとほぼ垂直な平面に対して任意に傾斜させることが可能になる。

【0032】主制御系8は、パワーモニタ7、反射量モニタ16、照射量モニタ24から情報を得て、投影光学系PLの結像特性を演算にて算出するとともに、制御装置36を初めとして投影露光装置1全体を統括制御する。なお、投影光学系PLの結像特性を調整する具体的な方法は、例えば、特開平4-192317号公報と同様であるため、ここでは割愛する。

【0033】ここで、ピエゾ素子33a～33c、34a～34cのヒステリシス特性について説明する。図3に示すように、各ピエゾ素子33a～33c、34a～34cは、約+40Vの正電圧を印加されたときに変位量が零となり、ここから正電圧が増加する方向へ印加されると曲線L1に沿って変位量が増し、約+150Vで最大の変位量（ストローク）を示す。また、ピエゾ素子33a～33c、34a～34cは、正電圧が減少する方向へ印加されると、正電圧が増加するときよりも小さい変化量で曲線L2に沿って変位量が減少し、-40V程度の負電圧を印加されたときに変位量が零となる。

【0034】さらに、負電圧が増加する方向へピエゾ素子33a～33c、34a～34cを印加すると、分極反転が起こり曲線L3に沿って再度変位量が増加し、約-150Vで最大の変位量を示す。また、ここから負電圧が減少する方向へピエゾ素子33a～33c、34a～34cを印加すると、負電圧が増加するときよりも小さい変化量で曲線L4に沿って変位量が減少し、+40V程度の正電圧を印加されたときに変位量が零となり、曲線L1と曲線L4とが交差する。このようなヒステリシス特性を利用することにより、ピエゾ素子33a～33c、34a～34cを初期化して当初のストロークを回復させることができる。なお、本実施の形態におけるピエゾ素子は、通常、曲線L2の部分で用いられ、例えば駆動電圧が0V～100Vの間で伸縮するものとする。そして、時間が経つにつれ0電圧印加時の変位量が上昇する（縮まなくなる）。

【0035】続いて、上記の構成の投影光学系PLおよび投影露光装置1において、ピエゾ素子33a～33c、34a～34cをそのヒステリシス特性に基づいて初期化する動作を、図4および図5に示すフローチャートに基づいて説明する。まず、リセット時にピエゾ素子33a～33c、34a～34cを初期化する動作を説明する。

【0036】図4に示すように、投影露光装置1に対するメンテナンス時等には、主制御系8からリセット・シーケンスの要求が発生し、制御装置36がリセット・シーケンスを開始する（ステップS0）ことにより、初期化工程RPが実行される。まず、制御装置36は、高電圧発生電源35をバイポーラ・モードに切り替える（ステップS1）。制御装置36は、高電圧発生電源35に

対して0Vを出力するように指令を出すことにより、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cに0Vの電圧を印加させ（ステップS2）、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cの変位量を曲線L2に沿って減少させる。

【0037】次に、制御装置36は、高電圧発生電源35に指令を出し、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cに-30Vの負電圧を印加させる（ステップS3）。この-30Vは、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cが負電圧側で分極反転を起こす手前の値として設定される。

【0038】次に、制御装置36は、高電圧発生電源35に指令を出し、-30Vから-180Vまでリニアに、且つ十分遅い速度で変化するように印加させる（ステップS4）。ここで、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cに対して急激に分極反転が発生すると破損等の可能性があるため、印加速度を低減させている。また、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cに分極反転が発生する電圧は、個々に若干のバラツキがあるため、このバラツキを吸収できるように-30Vから印加速度を落としている。これにより、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cは、-40V付近で分極反転を起こすとともに、曲線L3に沿って変位量が増加する。

【0039】ピエゾ素子33a~33c、34a~34cが最大に変位すると、制御装置36は高電圧発生電源35に指令を出し、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cに0Vの電圧を印加させ（ステップS5）、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cの変位量を曲線L4に沿って減少させる。

【0040】続いて、制御装置36は、高電圧発生電源35に指令を出し、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cに+30Vの正電圧を印加させる（ステップS6）。この+30Vは、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cが正電圧側で分極反転を起こす手前の値として設定される。

【0041】次に、制御装置36は、高電圧発生電源35に指令を出し、上記負電圧側と同様に、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cの破損を防止するために、+30Vから+180Vまでリニアに、且つ十分遅い速度で変化するように印加させる（ステップS7）。これにより、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cは、+40V付近で分極反転を起こすとともに、曲線L1に沿って変位量が増加する。

【0042】ピエゾ素子33a~33c、34a~34cが最大に変位すると、位置センサ37がレンズエレメントの位置、すなわちピエゾ素子33a~33c、34a~34cの伸長位置P1を計測する（ステップS8）とともに制御装置36へ出力する。制御装置36は、この位置を記憶する。

【0043】この後、制御装置36は、高電圧発生電源

35に指令を出し、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cに0Vの電圧を印加させて、初期状態に変位させる（ステップS9）。ここで、位置センサ37がレンズエレメントの位置、すなわちピエゾ素子33a~33c、34a~34cの縮小位置P2を計測する（ステップS10）とともに制御装置36へ出力する。制御装置36は、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cのストロークSを次式で算出する。

$$S = |P1 - P2| \quad \dots (1)$$

【0044】制御装置36は、式（1）で算出されたストロークSが許容範囲内であるかどうかを確認し（ステップS11）、許容範囲外であれば上記ステップS2以降を順次繰り返す。ストロークSが許容範囲内であれば、制御装置36は、高電圧発生電源35をユニポーラ・モードに切り替え（ステップS12）、出力電圧を0V~180Vの範囲に設定する。これにより、初期化工程RPが完了する。

【0045】初期化工程RPが完了すると、制御装置36は主制御系8から指定された初期目標値になるように、高電圧発生電源35を介してピエゾ素子33a~33c、34a~34cを駆動する（ステップ13）。このとき、制御装置36は、位置センサ37を用いた位置サーボを行う。

【0046】続いて、露光中にピエゾ素子33a~33c、34a~34cを初期化する動作について説明する。なお、予め設定部38に、位置センサ37から出力される検出信号に対する閾値を入力しておく。具体的には、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cの縮小側限界範囲に入ることを示す値として5μmを入力しておく。

【0047】図5に示すように、露光シーケンス実施時（ステップS20）に制御装置36は、主制御系8から指定される目標値に向けてピエゾ素子33a~33c、34a~34cを駆動するが、位置センサ37の検出結果からピエゾ素子33a~33c、34a~34cの変位量の縮小側限界値から5μm以内に、指定された目標値が入った場合（ステップS21）、主制御系8に対してストローク回復、すなわち、ピエゾ素子33a~33c、34a~34cの初期化工程RPの必要性を通知する。

【0048】主制御系8は、制御装置36からの要求を受けた時点が、露光シーケンスに鑑み影響のない時点かどうかを判断する（ステップS22）。ここで、露光シーケンスに影響がない時点とは、初期化工程RPを実施することで露光処理が中断することのない、例えばレチクルRを交換する工程や、ウエハWを交換する工程のことである。

【0049】主制御系8は、現時点が初期化工程RPを実施するタイミングでないと判断すると、露光シーケンスを継続する指令を制御装置36に出力する。一方、主

制御系8は、初期化工程RPを実施可能と判断した場合、制御装置36に初期化工程RPの実施を出力する。制御装置36は、主制御系8からの指令を受け取ると、まず位置センサ37を用いた位置サーボを停止する（ステップS23）。次に、初期化工程RPに移行し、上記リセット時に行ったステップS2～S12を実行して（ステップRP）ピエゾ素子33a～33c、34a～34cのストロークSを初期化する。

【0050】制御装置36は、ピエゾ素子33a～33c、34a～34cのストロークSが許容範囲内であるかどうかを確認すると、初期化が完了した信号を主制御系8に出力する（ステップS24）。主制御系8は初期化完了信号を受信すると、現在の目標値を算出し、制御装置36へ出力する。これにより、制御装置36には、新たな目標値が設定される（ステップS25）。

【0051】そして、制御装置36は、設定された目標値になるように、高電圧発生電源35を介してピエゾ素子33a～33c、34a～34cを駆動する（ステップS26）。なお、この時以降、位置センサ37を用いた位置サーボを再開する。主制御系8は、制御装置36が位置サーボを開始したことを知ると、露光シーケンスに復帰する（ステップS27）。以後、露光シーケンスが完了（ステップS28）するまで上記の動作を順次繰り返す。

【0052】本実施の形態の投影光学系およびその結像特性調整方法並びに投影露光装置では、初期化工程RPにおいてピエゾ素子33a～33c、34a～34cが曲線L1～L4で示すヒステリシスループを描くように高電圧発生電源35によって正電圧および負電圧を印加するので、変位に対するヒステリシス特性が正電圧および負電圧に跨る、いわゆるバタフライ曲線を描く場合でも当初のストロークを有するようにピエゾ素子33a～33c、34a～34cを初期化することができる。そのため、本実施の形態では、ストローク不足に起因して露光処理が中断したり、メンテナンス時の調整時間が長くなる等、生産効率の低下を未然に防ぐことができる。

【0053】また、本実施の形態の投影光学系およびその結像特性調整方法並びに投影露光装置では、露光中に主制御系8が指示する目標値が、位置センサ37の検出結果からピエゾ素子33a～33c、34a～34cの縮小側限界に対して設定された閾値を越えた場合に初期化工程を実施しているので、ピエゾ素子33a～33c、34a～34cが縮小側限界に到る前に確実にストローク回復を実施することができ、露光処理を中断せざるを得ない事態を未然に防ぐことができる。

【0054】また、この露光中の初期化工程も、閾値を越えたと即実施するのではなく、露光シーケンスに影響を与えない時点になってから行うので、無用な露光処理の中断を招かず、生産効率の低下を回避できる。しかも、初期化工程を実施するかどうかの閾値を別途設定部

38で設定するようにしているので、求められる露光精度に応じて閾値の変更も容易に行うことが可能である。

【0055】一方、本実施の形態の投影光学系およびその結像特性調整方法並びに投影露光装置では、上記初期化工程RP中でピエゾ素子33a～33c、34a～34cに分極反転が発生する際に、高電圧発生電源35による印加速度を低減させているので、急激な分極反転でピエゾ素子33a～33c、34a～34cが破損してしまうことを防止できる。また、この印加速度の低減を分極反転が発生する直前ではなく、余裕をみて手前から行っているため、ピエゾ素子33a～33c、34a～34cに分極反転が発生する電圧が個々にバラツキがあっても、このバラツキを吸収できる。

【0056】なお、上記実施の形態において、リセット時および露光中に初期化工程を実施したが、これに限られず、ウエハWのロット毎や、ウエハW内のショット毎に初期化工程を設けてもよい。また、上記実施の形態において示した分極反転の電圧値等は一例を示したものであり、この例に限定されるものではない。また、圧電素子としてピエゾ素子33a～33c、34a～34cを用いる構成としたが、これに限定されず他の圧電素子であってもよい。

【0057】また、上記実施の形態において、ピエゾ素子33a～33c、34a～34cの縮小側限界範囲に入る目標値を閾値として設定する構成としたが、これに限られることなく、例えば、ピエゾ素子33a～33c、34a～34cのストローク許容値を閾値として設定し、ストロークがこの閾値よりも小さくなったときに初期化工程を実施するかどうか判断するような構成であってもよい。

【0058】一方、投影光学系PLに配置されたレンズエレメント26～28を二つの支持部材30、31を介してピエゾ素子33a～33c、34a～34cによって移動させる構成としたが、レンズエレメントの数は、これ以下やこれ以上であってもよく、また支持部材も一つや三つ以上配置される構成であってもよい。

【0059】なお、基板としては、半導体デバイス用の半導体ウエハWのみならず、液晶表示デバイス用のガラス基板、薄膜磁気ヘッド用のセラミックウエハ、あるいは投影露光装置1で用いられるマスクまたはレチクルRの原版（合成石英、シリコンウエハ）等が適用される。

【0060】投影露光装置1としては、レチクルRとウエハWとを静止した状態でレチクルRのパターンを露光し、ウエハWを順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置（ステッパー）に限らず、レチクルRとウエハWとを同期移動してレチクルRのパターンをウエハWに露光するステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置（スキャニング・ステッパー）にも適用することができる。

【0061】投影露光装置1の種類としては、上記半導

体製造用のみならず、液晶表示デバイス製造用の投影露光装置や、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（CCD）あるいはレチクルRなどを製造するための露光装置などにも広く適用できる。

【0062】また、照明光学系5の照明光源2として、水銀ランプから発生する輝線（g線（436nm）、i線（365nm））、KrFエキシマレーザ（248nm）、ArFエキシマレーザ（193nm）、F₂レーザ（157nm）のみならず、X線や電子線などの荷電粒子線などを用いることができる。例えば、電子線を用いる場合には、電子銃として熱電子放射型のランタンヘキサボライト（LaB₆）、タンタル（Ta）を用いることができる。また、YAGレーザや半導体レーザ等の高周波などを用いてもよい。

【0063】投影光学系PLの倍率は、縮小系のみならず、等倍系および拡大系のいずれでもよい。また、投影光学系PLとしては、エキシマレーザなどの遠紫外線を用いる場合は硝材として石英や螢石などの遠紫外線を透過する材料を用い、F₂レーザを用いる場合は反射屈折系または屈折系の光学系にし（レチクルRも反射型タイプのものを用いる）、また電子銃を用いる場合には光学系として電子レンズおよび偏向器からなる電子光学系を用いればよい。なお、電子線が通過する光路は、真空状態にすることはいうまでもない。

【0064】Zステージ20、XYステージ22を有するウエハステージやレチクルステージ17にリニアモータを用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、各ステージ17、20、22は、ガイドに沿って移動するタイプでもよく、ガイドを設けないガイドレスタイプであってもよい。

【0065】基板ステージの移動により発生する反力は、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしてもよい。レチクルステージ17の移動により発生する反力は、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしてもよい。

【0066】複数の光学素子から構成される照明光学系5および投影光学系PLをそれぞれ露光装置本体に組み込んでその光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージ17やZステージ20、XYステージ22を露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより本実施の形態の投影露光装置1を製造することができる。なお、投影露光装置1の製造は、温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0067】液晶表示素子や半導体デバイス等のデバイスは、各デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルRを製作するステッ

プ、ガラス基板、ウエハW等を製作するステップ、前述した実施の形態の投影露光装置1によりレチクルRのパターンをガラス基板、ウエハWに露光するステップ、各デバイスを組み立てるステップ、検査ステップ等を経て製造される。

【0068】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1に係る投影光学系は、電圧印加装置が圧電素子に正電圧および負電圧を印加し、制御装置が圧電素子の変位に対するヒステリシス特性に基づいて電圧印加装置による印加電圧を制御する構成となっている。これにより、この投影光学系では、圧電素子の変位に対するヒステリシス特性が正電圧および負電圧に跨る、いわゆるバタフライ曲線を描く場合でも当初のストロークを有するように初期化することができるため、ストローク不足に起因して露光処理が中断したり、メンテナンス時の調整時間が長くなる等、生産効率の低下を未然に防ぐことができるという効果が得られる。

【0069】請求項2に係る投影光学系は、圧電素子としてピエゾ素子が用いられる構成となっている。これにより、この投影光学系では、ピエゾ素子の変位に対するヒステリシス特性が正電圧および負電圧に跨る、いわゆるバタフライ曲線を描く場合でも当初のストロークを有するように初期化することができるため、ストローク不足に起因して露光処理が中断したり、メンテナンス時の調整時間が長くなる等、生産効率の低下を未然に防ぐことができるという効果が得られる。

【0070】請求項3に係る投影光学系は、制御装置が検出部からの検出信号に応じてヒステリシス特性に基づく印加電圧の制御を行う構成となっている。これにより、この投影光学系では、圧電素子がストローク不足を起こす前に確実にストローク回復を実施することができるという効果が得られる。

【0071】請求項4に係る投影光学系は、設定部で設定された閾値を検出信号が越えたときにヒステリシス特性に基づく印加電圧の制御を行う構成となっている。これにより、この投影光学系では、圧電素子がストローク不足を起こす前に確実にストローク回復を実施することができ、露光処理を中断せざるを得ない事態を未然に防ぐことができるとともに、初期化工程を実施するかどうかの閾値を別途設定部で設定することで、求められる露光精度に応じて容易に閾値を変更できるという効果も得られる。

【0072】請求項5に係る投影光学系は、ヒステリシス特性に基づいて圧電素子に印加されていた電圧と逆極の電圧を印加することにより、圧電素子を初期状態にする構成となっている。これにより、この投影光学系では、圧電素子の変位に対するヒステリシス特性が正電圧および負電圧に跨る、いわゆるバタフライ曲線を描く場

合でも当初のストロークを有するように初期化することができるため、ストローク不足に起因して露光処理が中断したり、メンテナンス時の調整時間が長くなる等、生産効率の低下を未然に防ぐことができるという効果が得られる。

【0073】請求項6に係る投影光学系の結像特性調整方法は、初期化工程において、圧電素子のヒステリシス特性に基づいて圧電素子に印加されていた電圧と逆極の電圧を印加して、圧電素子を初期状態に変位させる構成となっている。これにより、この投影光学系の結像特性調整方法では、圧電素子の変位に対するヒステリシス特性が正電圧および負電圧に跨る、いわゆるバタフライ曲線を描く場合でも、ストローク不足に起因して露光処理が中断したり、メンテナンス時の調整時間が長くなる等、生産効率の低下を未然に防ぐことができるという効果が得られる。

【0074】請求項7に係る投影光学系の結像特性調整方法は、圧電素子の変位量の情報に基づいて初期化工程に移行する構成となっている。これにより、この投影光学系の結像特性調整方法では、圧電素子がストローク不足を起こす前に確実にストローク回復を実施することができ、露光処理を中断せざるを得ない事態を未然に防ぐことができるという効果が得られる。

【0075】請求項8に係る投影光学系の結像特性調整方法は、圧電素子に関する情報が所定の閾値を越えたときに初期化工程に移行する構成となっている。これにより、この投影光学系の結像特性調整方法では、圧電素子がストローク不足を起こす前に確実にストローク回復を実施することができ、露光処理を中断せざるを得ない事態を未然に防ぐことができるとともに、初期化工程を実施するかどうかの閾値を別途設定することで、求められる露光精度に応じて容易に閾値を変更できるという効果も得られる。

【0076】請求項9に係る投影光学系の結像特性調整方法は、初期化工程で圧電素子に分極反転が発生する際に、圧電素子に対する印加速度を低減させる構成となっ

ている。これにより、この投影光学系の結像特性調整方法では、急激な分極反転で圧電素子が破損してしまうことを防止できるという効果が得られる。

【0077】請求項10に係る投影露光装置は、請求項1から5のいずれかに記載された投影光学系を介してマスクのパターン像を基板に投影する構成となっている。これにより、この投影露光装置では、圧電素子のストローク不足に起因して露光処理が中断したり、メンテナンス時の調整時間が長くなる等、生産効率の低下を未然に防ぐことができるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態を示す図であって、投影露光装置の概略構成図である。

【図2】 本発明の投影露光装置を構成する投影光学系を上方から見た平面図である。

【図3】 本発明の投影露光装置を構成するピエゾ素子のヒステリシス特性図である。

【図4】 本発明の実施の形態を示す図であって、リセット時にピエゾ素子を初期化する動作の流れを示すフローチャート図である。

【図5】 本発明の実施の形態を示す図であって、露光中にピエゾ素子を初期化する動作の流れを示すフローチャート図である。

【符号の説明】

PL 投影光学系

RP 初期化工程

R レチクル（マスク）

W ウエハ（基板）

1 投影露光装置

26～29 レンズエレメント（光学素子）

33a～33c、34a～34c ピエゾ素子（圧電素子）

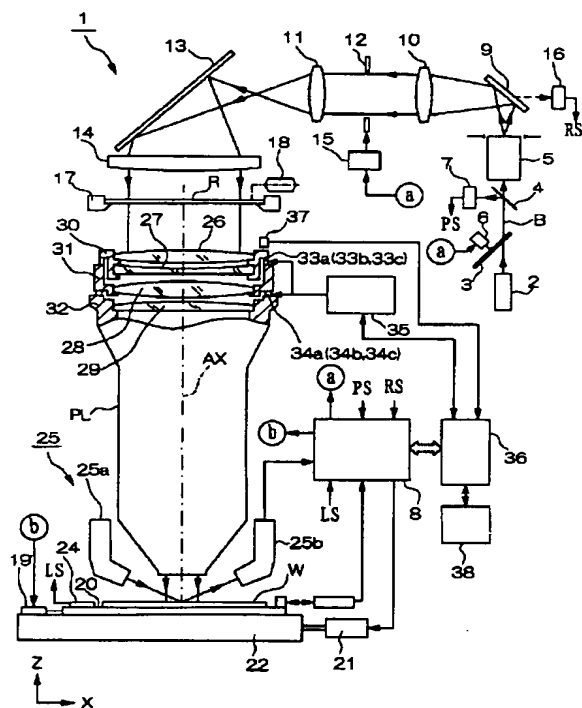
35 高電圧発生電源（電圧印加装置）

36 制御装置

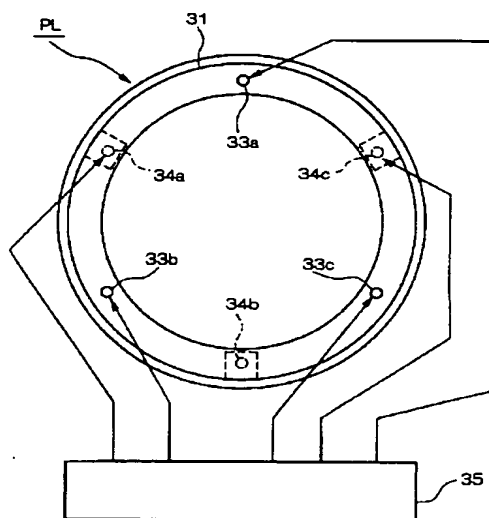
37 位置センサ（検出部）

38 設定部

【図1】

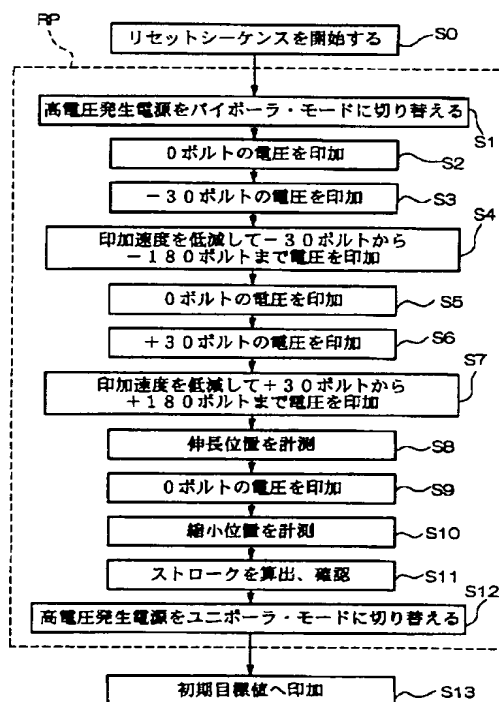


【図2】

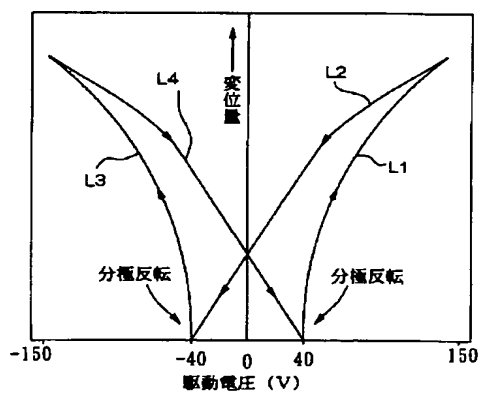


【図4】

〈リセット時〉



【図3】



【図5】

